

LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN RELACIÓN CON EL RIEGO LOCALIZADO EN TOMATE DE INVERNADERO.

Suárez, C. L.¹; Santana, J. L.¹; Sánchez, C. A.¹; Ramos, C.²

II.C.I.A. Apartado 60. 38200 La Laguna. Tenerife. Islas Canarias

II.V.I.A. Crtra Moncada-Naquera, km 4,5. Moncada. 46113 Valencia.

Resumen

Para el estudio de la lixiviación de nitratos procedentes del tomate en medio controlado, hemos contado con un invernadero de cristal 208 m², en el cual se acondicionaron pocetas lisimétricas, de 5.9 m³, permitiendo el cultivo de veinticuatro plantas de tomate variedad "Daniela" por unidad experimental, un diseño estadístico de bloques al azar con tratamientos en split-plot, dos tratamientos de riego (R1 y R2) y dos tratamientos de nitrógeno (N1 y N2). El agua se suministró a través de una instalación de riego localizado y la nutrición por fertirrigación. La ET_c del cultivo se calculó a partir del kc en relación con la evaporación de la cubeta clase A, en invernadero. Para obtener lixiviación del sistema, en R1 a la ET_c se le aplicó un 24% más de agua y en R2 un 38%. La cantidad de nitrógeno en el tratamiento N1 fue de 348 kg ha⁻¹ y 696 kg ha⁻¹ en N2. Durante los dos años de ensayo, se analizó parámetros fisiológicos y de cosecha en los cuatro tratamientos (R1N1, R1N2, R2N1 y R2N2). Una vez retiradas las plantas, se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (15 y 40 cm) en las filas de plantas y en los pasillos. Al final del ensayo, con el fin de producir un lavado se aplicó un riego de 30 mm, analizando posteriormente agua de drenaje y suelo. Observamos que la cantidad de agua aplicada es un factor fundamental en la distribución del nitrógeno en el suelo y en la respuesta de las plantas a la nutrición nitrogenada.

Palabras clave: tomate, lixiviación de nitratos, lisímetros de drenaje, riego localizado, invernadero.

Abstract

A two-year trial, carried out between June and October in each year, was set up to study the relationship between nitrate leaching and irrigation, for tomatoes grown in sixteen drainage lysimeters with 5.9 m³ capacity (3.9 m x 2.5 m x 0.6 m) in a greenhouse. The experimental design was randomized blocks in split-plots with four repetitions and experimental units of 24 plants. The water and the fertilizers were applied by trickle irrigation in rows. The amount of water applied was determined according to the FAO methodology for a class A evaporation pan (Doorenbos and Pruitt, 1976) placed in the middle of the greenhouse. The experiment was carried out with the tomato cultivar Daniela with two irrigation and two nitrogen treatments (R1N1, R1N2, R2N1 and R2N2). To get leaching in the system a percentage plus was added to the evaporation pan value, in the case of R1, 24% and in R2, 38%. The two nitrogen treatments were 348 kg ha⁻¹ in N1 and 696 kg ha⁻¹ in N2. In both years physiological and harvest parameters were analyzed. At the end of each crop cycle the plants were uprooted, and soil samples within and between the rows were taken at 15 and 40 cm depths, before and after 30 mm of irrigation leaching was applied. The soil samples and drainage water were subsequently analyzed. The water applied was seen to affect nitrate distribution in the soil and plant response.

1. Introducción

La superficie total cultivada de tomate en España es de 56.8 ha (MAPA, 1998) y la producción total alcanzó 3.326.400 Tm, contribuyendo Canarias con un 14.5%. La superficie cultivada en Canarias es de 3.000 ha con una gran repercusión social, generando cerca de 25.000 puestos de trabajo directos (Fuertes, 1997).

El consumo de agua en Canarias por parte del cultivo se puede cifrar en el 16% del total de agua agrícola, con un consumo medio de 7.500 a 12.000 m³ ha⁻¹ año⁻¹, para una frecuencia entre 1 y 3 días a una dosis de 1,5-2 l pl⁻¹día⁻¹.

En lo que respecta a las recomendaciones de nitrógeno para el tomate las mayores cosechas se obtienen cuando tenemos en la solución de suelo alrededor de 140 mg N l⁻¹ (Bar-Yosef, 1977, op. cit. Adams, 1986), aplicando 208,5 kg ha⁻¹ se consiguieron cosechas de 44.7 ton ha⁻¹ (Adams, 1986). En estudios de riego realizados en Almería la aplicación de N fue de 410 kg ha⁻¹ (Castilla, et al, 1990). Para Canarias las recomendaciones se encuentran entre 500 y 700 kg ha⁻¹ (Rodríguez Rodríguez, et al, 1989).

Según el Plan Hidrológico Insular de Tenerife (1995), la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas es producida por la recarga del acuífero por sustancias procedentes de la actividad humana. En los principales valles agrícolas esta concentración sube a 40-50 mg l⁻¹, destacando el rango entre 40-110 mg l⁻¹ del Valle de la Orotava.

La lixiviación de nitratos en lugares con suelos y condiciones medioambientales similares se incrementa con la mayor aplicación de fertilizantes nitrogenados (Jemison *et al*, 1994). Junto con el abonado, el riego es el factor más importante a considerar en la lixiviación de nitratos, según Castel *et al* (1996) incluso la cantidad de riego aplicada a los cultivos tiene un mayor efecto que la cantidad de abonado nitrogenado en la determinación de las pérdidas de N, aunque sin duda existe una gran interacción entre ambos factores (Pier y Doerge, 1995 y Brandi-Dohrn *et al* 1997).

Cuanto más eficiente sea el riego, menor será el riesgo de que se produzca lixiviación de nitratos. También puede ocurrir que pequeñas dosis de riego y exceso de N pueden incrementar la concentración de este elemento en el perfil del suelo, que se lixivie cuando las precipitaciones excedan a la evapotranspiración (Bruckler *et al*, 1997).

Para Allison y Armstrong (1992) hay que procurar mantener los mayores rangos de concentración de N durante el periodo en el que el cultivo está activo, mientras que las pérdidas de NO₃ en el agua de drenaje son prácticamente inevitables, ya que se necesita una concentración en la solución de suelo de 10-50 mg l⁻¹ para satisfacer las necesidades de la planta (Ramos, 1990).

El periodo crítico para que se produzca la lixiviación de nitratos es en invierno, con elevada pluviometría y una percolación alta (Brandi-Dohrn *et al*, 1997), esto es especialmente importante cuando levantamos un cultivo después de la cosecha, quedando el terreno libre durante el invierno. En un suelo en barbecho, otro con leguminosas y un tercero con cebada, las mayores pérdidas por lixiviación se producían en el terreno en barbecho (Francis *et al.*, 1994).

2. Material y Métodos

Durante 1998 y 1999 en los meses de junio a octubre se desarrolló el presente estudio en un invernadero de cristal con una superficie de 208 m², en el cual se acondicionaron 16 lisímetros de drenaje, con unas dimensiones de 2.5 de ancho, 3.7 de largo y 0.7 de profundidad, permitiendo el cultivo de veinticuatro plantas de tomate variedad "Daniela" por

lisímetro, que constituye la unidad experimental, un diseño estadístico de bloques al azar con tratamientos en split-plot, con 4 repeticiones por tratamiento.

En cada lisímetro se estableció una capa de drenaje de 10 cm., de una grava irregular, con un lecho de arena y 50 cm. de tierra, con un contenido inicial de nitrógeno como nitratos de 0.133 ton ha⁻¹. Se aplicaron abonos solubles y agua de riego a través de una instalación de riego localizado mediante goteo, con emisores de un caudal de 2 l h⁻¹, colocados a 40 cm de distancia existiendo un solape entre bulbos, obteniendo como resultado un riego en franjas. Se analizó el agua de riego y drenaje a lo largo del ensayo.

En la figura 1 observamos el riego calculado a partir de $E_o \cdot k_c$ mensual y el riego aplicado a los dos tratamientos, R1 y R2, en el R1 supuso un 24% de riego real sobre el teórico y en R2 un 38% por encima del riego obtenido a partir de la evaporación del tanque clase A. Los dos tratamientos de nitratos, supusieron una aplicación de 18.8 gr pl⁻¹ (348 kg ha⁻¹), N1, y de 37.6 gr pl⁻¹ (696 kg ha⁻¹), N2, con una densidad de plantación de 18.500 pl ha⁻¹.

Las dosis de riego aplicadas fueron determinadas por el coeficiente del cultivo en relación con la evaporación de una cubeta clase A (E_o) (Doorenbos, 1976), ubicada en el invernadero, la relación ET/E_o aplicada durante la cosecha fue 0,3, 0,6, 0,9, 1,2, 1,0 desde el primer al quinto mes, respectivamente (Hernández y Pérez, 1990 y Castilla, et al, 1990).

Durante el primer año debido a la ubicación del tanque evaporimétrico, afectado por el crecimiento de las plantas no se obtuvo drenaje durante los meses de ensayo en los diferentes tratamientos, ya que las plantas adyacentes sombreaban el tanque minimizando los valores de evaporación. En el segundo año una vez corregida la ubicación del tanque, se obtuvo drenaje a partir del tercer mes en el tratamiento R2N2 y del cuarto mes en R2N1, R1N1 y R1N2, el contenido en nitratos del agua de drenaje se analizó semanalmente.

Después de la retirada del cultivo se sometió el suelo a un lavado de 30 mm, aplicado a través de la instalación de riego localizado, tomando muestras de suelo a 15 y 40 cm de profundidad en las filas de plantas y en los pasillos, antes y después del lavado.

A lo largo del ensayo se tomaron medidas fisiológicas de las plantas, número de hojas, grosor del tallo a 10 cm y la longitud de la planta, en cuanto al análisis de la producción se tomó peso, cantidad y calibre del fruto, las categorías de calibrado se asignaron en función de la normativa publicada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1985), que para tomates redondos, lisos y asurcados. Respondiendo a: de 35 mm a 40 mm excluido, se denomina P; de 40 mm a 47 mm excluido, se denomina MMM; de 47 mm a 57 mm excluido, se denomina MM; de 57 mm a 67 mm excluido, se denomina M; de 67 mm a 77 mm excluido, se denomina G; de 77 mm a 87 mm excluido, se denomina GG.

Los parámetros estudiados se sometieron al análisis estadístico para calcular si la variación observada era debida a los tratamientos aplicados o al azar, se utilizó el programa Systat ® versión 7.0.1. (copyright © 1997, SPSS Inc.).

3.Resultados y discusión

Durante el primer año de ensayo, la duración del cultivo fue de 22 semanas y en el año 1999 fue de 24 semanas. En la tabla I se presentan las cantidades totales de agua aplicada y drenada en los diferentes tratamientos de riego y nitrógeno. Se observa la aplicación de un 44% más de agua de riego en el año 1999.

La aplicación de un exceso de riego y de abonado nitrogenado no incidió significativamente en los parámetros fisiológicos analizados en las plantas. Podemos observar en la tabla II que las diferencias observadas en la longitud y el grosor del tallo, así como el

número de hojas, al analizarlas estadísticamente no fueron debidas a los tratamientos de riego y nitrógeno, tanto en el año 1998 como en 1999. Durante el segundo año de ensayo las plantas fueron más cortas, con tallos más gruesos y mayor número de hojas.

En los parámetros de producción analizados (tabla III) si se observó una influencia del riego y del abonado en la producción obtenida (kg m^{-2}), en el peso del fruto y en el calibre del fruto. En el año 1998 las variaciones observadas en la producción fueron significativas a una probabilidad de que ocurra del 95% con respecto al nitrógeno y a la intersección del riego con el nitrógeno. En 1999 las diferencias entre tratamientos de producción fueron significativas a una probabilidad del 95% y el tamaño del fruto al 99%, variaciones debidas al riego aplicado.

Con respecto a la producción tenemos que señalar las bajas recolecciones de frutos comerciales obtenidas en el segundo año de ensayo debidas al nitrógeno acumulado en el suelo en todos los tratamientos, ya que un exceso de nitrógeno influye negativamente en la recolección (Winsor y Adams, 1987). También dependiendo de los tratamientos se observó un porcentaje elevado de frutos afectados de podredumbre apical, debida a valores altos de la relación del nitrógeno amoniacal con el calcio (Winsor y Adams, 1987), así tenemos que no se contabilizaron el 16.3% de los frutos en el tratamiento R1N1, el 32.1% en R1N2, el 9.8% en R2N1 y el 13.9% en R2N2.

Durante el primer año de ensayo en los dos tratamientos de riego no se obtuvo drenaje, pero el segundo año drenan a partir del mes de septiembre, cuando se aplicó el kc de 1.2, en el tratamiento R2N2 en la semana 15 del ensayo, R2N1 y R1N1 en la semana 19 y R1N2 en la semana 20, valores que se observan en la figura 2. Los valores de nitratos drenados en los diferentes tratamientos aumentan con el riego y con el abonado nitrogenado, obteniendo unos valores acumulados totales por tratamiento al final del ensayo de 9.3 kg ha^{-1} para R1N1, 35.5 kg ha^{-1} en R1N2, 55.7 kg ha^{-1} en R2N1 y 342.5 kg ha^{-1} en R2N2.

Durante el año 1998 al no observar drenaje durante los meses de cultivo se aplicó al final del ensayo un lavado de 30 mm a través del riego localizado, con el fin de observar la cantidad de nitratos que son arrastrados del suelo con un exceso de riego, analizando los suelos antes y después del lavado, en filas de plantas, zona húmeda, y en pasillos, zona seca, a 15 y 40 cm de profundidad, respectivamente. El segundo año de ensayo a pesar de haber obtenido drenaje, también se aplicó 30 mm de lavado una vez levantado el cultivo. Los resultados del contenido de nitratos en suelos antes y después del lavado, y en aguas de drenaje se presentan en la figura 3. En las aguas de drenaje el contenido de nitratos aumenta con el tratamiento de riego.

Los 50 cm de suelo inicial, aportado a los lisímetros contenía 132.7 kg ha^{-1} de nitratos, durante 1998 el contenido en nitratos del suelo al final del cultivo, aumentó en todos los tratamientos y profundidades en las filas de plantas, figura 4, destacando los valores a 15 cm de profundidad de suelo oscilando entre 356.4 kg ha^{-1} (R1) y 364.2 kg ha^{-1} (R2) para N1 y 718.8 kg ha^{-1} (R1) y 779.0 kg ha^{-1} (R2) para N2.

Después del lavado los contenidos de nitratos en el suelo descendieron a 132.3 kg ha^{-1} (R1) y 107.4 kg ha^{-1} (R2) para N1 y 158.8 kg ha^{-1} (R1) y 431.5 kg ha^{-1} (R2) para N2, a 15 cm de profundidad, en los pasillos los valores del contenido de nitratos disminuyeron, excepto en el tratamiento R1N2, debido al movimiento de las sales en el suelo al haber aplicado el lavado a través del riego localizado.

El segundo año de ensayo partimos del suelo lavado del primer año, al aplicar los tratamientos de riego y nitrógeno se continuó acumulando los nitratos en el suelo en todas

las profundidades. Al final del ensayo se alcanzaron valores elevados a 15 cm de profundidad en todos los tratamientos, figura 4, observándose una acumulación importante en los pasillos a 15 cm en los tratamientos R1 y R2 a los que se le había aplicado una mayor cantidad de nitrógeno (N2), llegando a alcanzar valores de 5859.1 kg ha⁻¹ en R1N2 y 3164.9 kg ha⁻¹ en R2N2. Después del lavado el contenido de nitratos en estos puntos continuaba siendo alto, 2175.9 kg ha⁻¹ para R1N2 y 2893.5 kg ha⁻¹ en R2N2.

Para los años de ensayo en los dos tratamientos de nitrógeno hemos abonado con cantidades superiores a los requerimientos del cultivo, presentándose acumulaciones en el suelo aún a pesar de haber aplicado un riego de lavado al final de cada cosecha. Observando además la influencia del manejo del riego en el comportamiento de la lixiviación de nitratos. Las cantidades más pequeñas de riego incrementan la concentración de nitratos en el perfil del suelo, que se pueden lixiviar cuando las precipitaciones excedan a la evapotranspiración (Bruckler *et al*, 1997).

Referencias bibliográficas

Adams, P. (1986). Mineral nutrition. En *The Tomato Crop: a scientific basis for improvement*. Editado por J. G. Atherton y más tarde por J. Rudich. Londres: Chapman and Hall, 1986, pp. 281-334.

Allison, M. F. y J. M. Armstrong (1992). The integration of cover crops into sugar beet (*Beta vulgaris*) rotations. *Aspects of Applied Biology* n°30, Nitrate and Farming Systems, pp. 301-308.

Brandi-Dohrn, F. M., R. P. Dick, M. Hess, S. M. kauffman, D. D. Hemphill Jr. y J. S. Selker (1997). Nitrate leaching under a cereal rye cover crop. En *Journal of Environmental Quality* n°26, pp. 181-188.

Bruckler L., A. M. Cockborne, P. Renault y B. Claudot (1997). Spatial and temporal variability of nitrate in irrigated salad crops. En *Irrigation Science* n°17, pp. 53-61. Original paper.

Castel, J. E., F. Moreno, J. M. Murillo, J. A. Cayuela, E. Fernández-Boy y F. Cabrera (1996). Water use and yield of maize with two levels of nitrogen fertilization in SW Spain. En *Agricultural Water Management* n°29, pp. 215-233.

Castilla, N., F. Elim y E. Fereres (1990). Evapotranspiración de cultivos hortícolas en invernadero en Almería. En *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, vol. 5 n°2, pp. 117-125.

Doorembos, J. y W. O. Pruitt (1976). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje. 212 pp.

Fuertes, L. (1997). El gobierno de Canarias dio "luz verde" a la Consejería de Agricultura para solucionar los problemas del tomate. *Canarias Agraria y Pesquera* n°37, p. 8.

Hernández Abreu, J. y A. Pérez Regalado (1990). El riego del tomate para la exportación en Canarias. En *III Jornadas de transferencia tecnológica. El cultivo del tomate*. Guía de Isora, 27-29 abril 1990. Ed. Ediciones y Promociones LAV, S.L., pp. 179-195.

Plan Hidrológico Insular de Tenerife (1995), pp. 4-35 a 4-38. En el volumen de memorias.

Ramos Momo, C. (1990). Lavado de fertilizantes como consecuencia del riego. V Curso Internacional de Riego Localizado. Universidad de la Laguna, Tenerife, pp. 7-19.

Winsor, G. and Adams, P. (1987). Glasshouse crops. J.B.D. Robinson. University of Bristol. U.K.. 168 p.

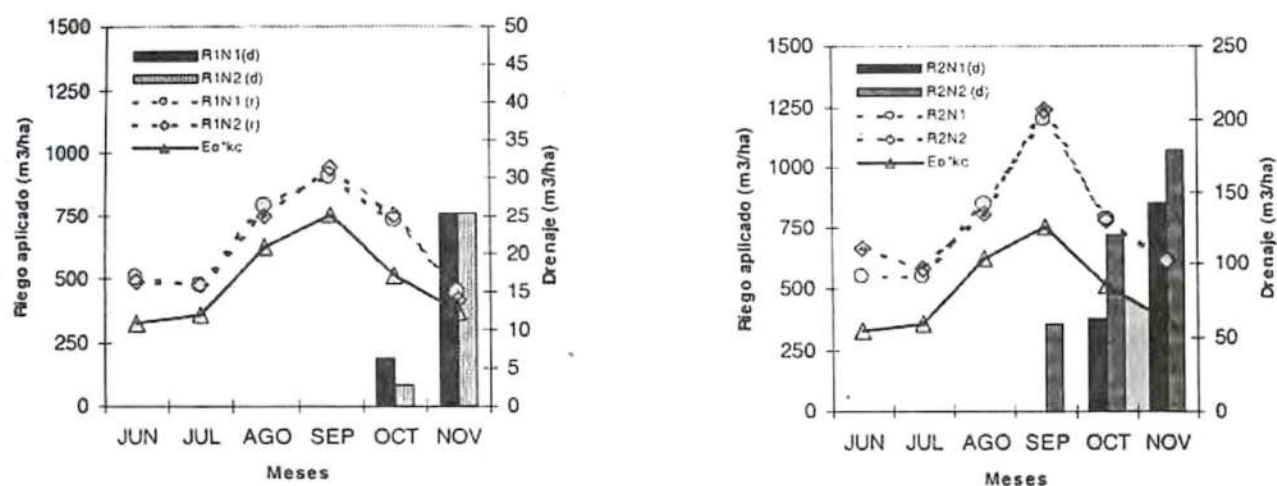


Figura 1.- Riego teórico calculado a partir de la evaporación del tanque clase A (Eo) y los coeficientes de cultivo ($k_c = 0.3, 0.6, 0.9, 1.2$ y 1.0), riego aplicado y drenaje obtenido ($m^3/ha/mes$), para los cuatro tratamientos R1N1, R1N2, R2N1 y R2N2.

Tabla I. Riego aplicado en los diferentes tratamientos de riego y nitrógeno durante los años 1998 y 1999 y drenaje del año 1999.

	Riego aplicado (1998)		Riego aplicado (1999)		Drenaje obtenido
	$m^3 ha^{-1}$	$l pl^{-1} día^{-1}$	$m^3 ha^{-1}$	$l pl^{-1} día^{-1}$	
1N1	2111	0.76	3770	1.25	31.6
1N2	2084	0.75	3733	1.23	27.9
2N1	2472	0.89	4437	1.47	205.5
2N2	2517	0.91	4572	1.51	358.7

Tabla II. Parámetros fisiológicos estudiados en los dos años de ensayo, en las plantas de tomate, longitud y grosor del tallo, y nº de hojas por planta, para los tratamientos de riego y nitrógeno. *, **, *** y n.s. son valores de significación del 95, 99 y 99.9 % y no significativos, respectivamente

		Longitud tallo (cm)		Grosor tallo (mm)		Hojas/planta	
Año		1998	1999	1998	1999	1998	1999
Efecto del tipo de riego (R)							
	R1	357.73	287.80	11.39	15.67	44.69	54.68
	R2	364.30	294.13	10.98	15.44	43.67	54.45
Anova		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Efecto dosis de nitrógeno (N)							
	N1	359.38	284.42	11.06	15.63	43.19	52.98
	N2	362.65	297.50	11.31	15.48	45.17	56.14
Anova		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción R*N							
Con R1							
	N1	354.42	287.52	11.05	15.90	44.25	53.55
	N2	361.04	288.08	11.73	15.43	45.13	55.81
Con R2							
	N1	364.33	281.33	11.06	15.35	42.13	52.42
	N2	364.26	306.92	10.90	15.53	45.22	56.47
Anova R*N		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabla III. Parámetros de recolección y cosecha estudiados en los dos años de ensayo, en las plantas de tomate, producción, número de frutos, peso del fruto, y calibre del fruto, este sólo se analizó en 1999, para los tratamientos de riego y nitrógeno. *, **, *** y n.s. son valores de significación del 95, 99 y 99.9 % y no significativos, respectivamente

	Producción (kg m ⁻²)		Número de frutos		Peso fruto (gr)		Calibre del fruto (%)			
							MMM	MM	M	G
Año	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1999			
Efecto del tipo de riego (R)										
R1	6.39	3.06	890	339	93.1	75.2	8.6	60.7	28.7	1.7
R2	6.58	4.92	897	451	92.4	91.7	2.7	40.8	47.3	8.9
Anova	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	**	**	*
Efecto dosis de nitrógeno (N)										
N1	6.25	4.10	928	407	86.7	84.1	4.3	50.7	40.2	4.7
N2	6.72	3.88	860	384	98.8	82.8	7.0	50.7	35.9	5.9
Anova	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción R*N										
Con R1										
N1	6.43	3.52	969	375	87.0	78.4	5.8	58.9	32.1	2.9
N2	6.35	2.60	811	303	99.1	72.1	11.4	62.5	25.3	0.5
Con R2										
N1	6.07	4.69	887	438	86.3	89.9	2.8	42.5	48.2	6.5
N2	7.08	5.15	908	465	98.5	93.6	2.7	39.1	46.4	11.4
Anova R*N	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

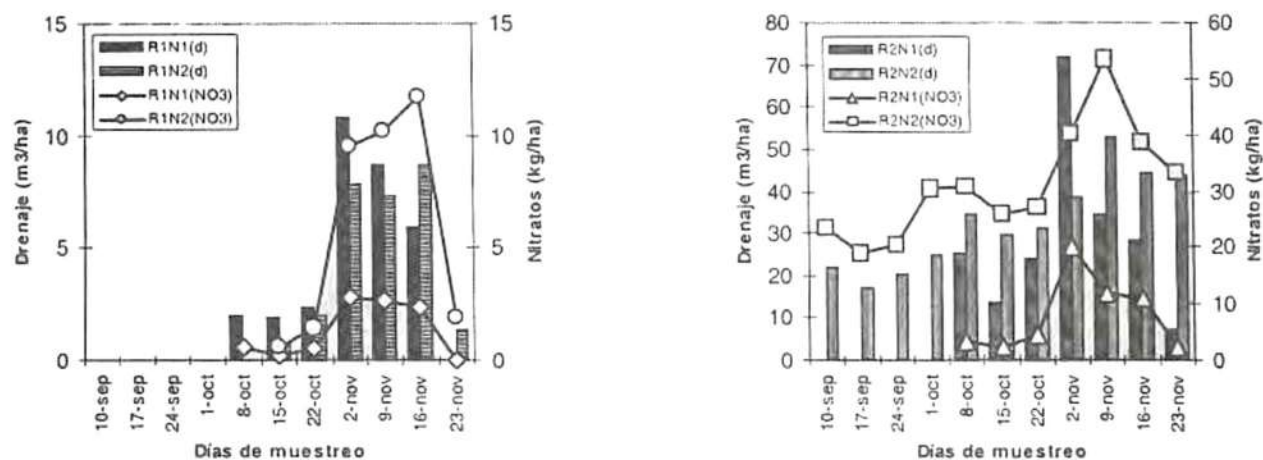


Figura 2.- Drenaje obtenido ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) y contenido de nitratos (kg ha^{-1}) para los cuatro tratamientos R1N1, R1N2, R2N1 y R2N2.

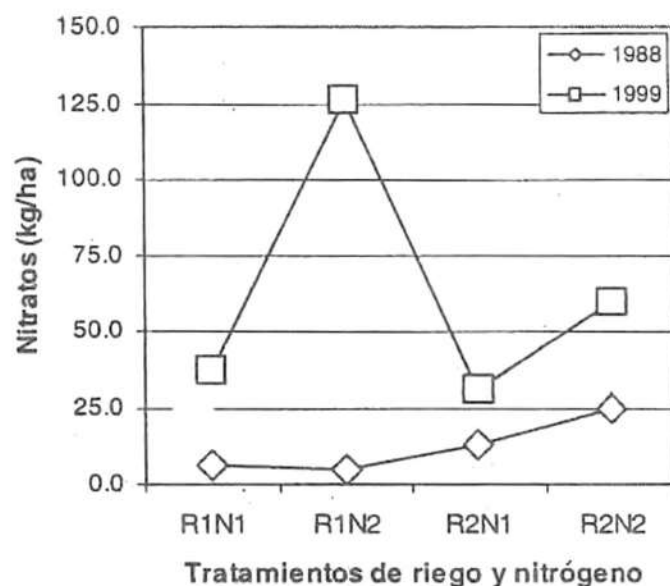


Figura 3.-Contenido de nitratos (kg ha^{-1}) en agua de drenaje, después de la aplicación de un riego de lavado de 30 mm en los años de ensayo, para los dos tratamientos de riego y nitrógeno (R1N1,R1N2,R2N1,R2N2).

Nitratos en suelos de lisímetros de tomate

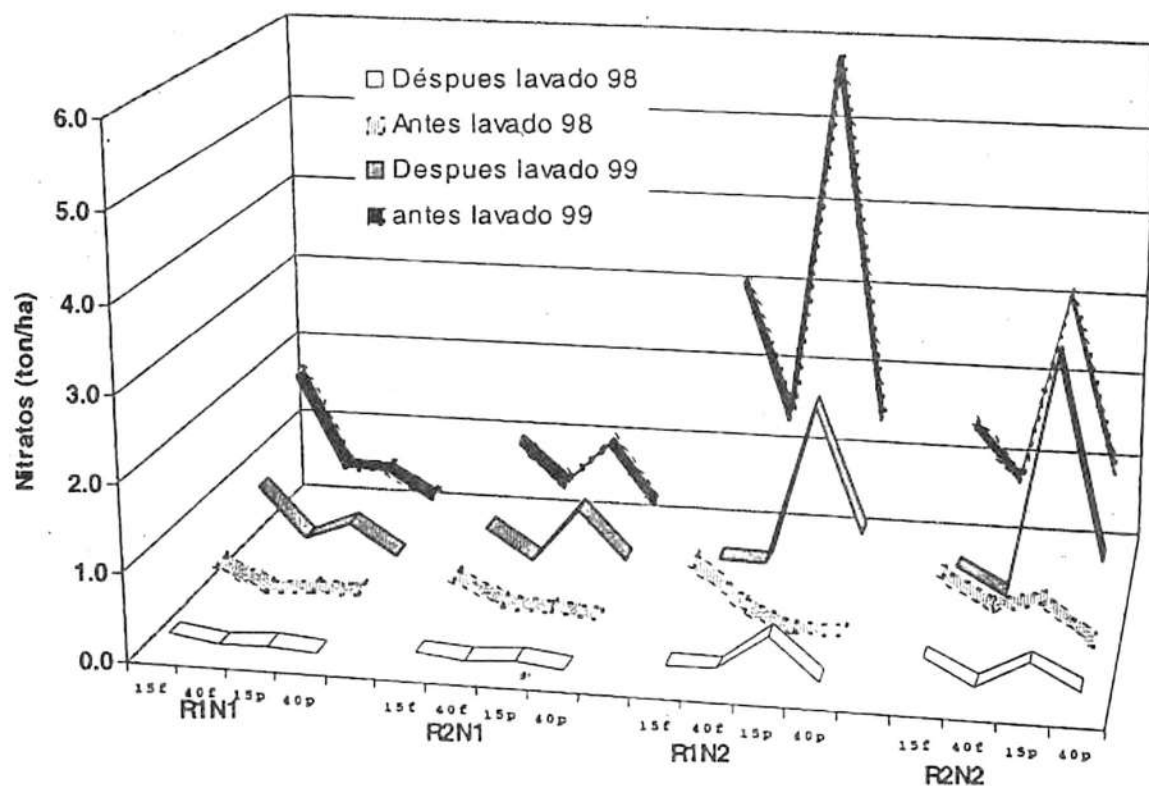


Figura 4.-Contenido de nitratos (kg ha^{-1}) en suelos de los lisímetros de tomate a dos profundidades a 15 y 40 y en fila de plantas (f) y en pasillos entre plantas (p), antes y después de la aplicación de un riego de lavado de 30 mm en los años de ensayo, para los dos tratamientos de riego y nitrógeno (R1N1,R1N2,R2N1,R2N2).